

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2000-278078
(P2000-278078A)

(43)公開日 平成12年10月6日(2000.10.6)

(51)Int.Cl.⁷

H 0 3 H 9/17

識別記号

F I

H 0 3 H 9/17

テ-マ-ト*(参考)

F 5 J 1 0 8

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 5 頁)

(21)出願番号 特願平11-86449

(22)出願日 平成11年3月29日(1999.3.29)

(71)出願人 000006633

京セラ株式会社

京都府京都市伏見区竹田烏羽殿町6番地

(72)発明者 神垣 耕世

鹿児島県国分市山下町1番4号 京セラ株式会社総合研究所内

(72)発明者 西川 洋行

鹿児島県国分市山下町1番4号 京セラ株式会社総合研究所内

(72)発明者 吉村 健一

鹿児島県国分市山下町1番4号 京セラ株式会社総合研究所内

Fターム(参考) 5J108 AA04 BB04 BB07 CC04 CC11

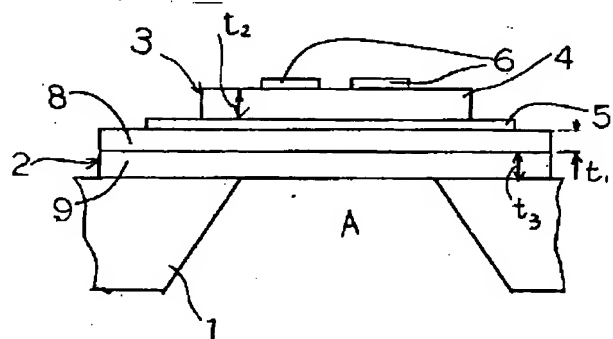
DD01 DD06 EE03 EE04 EE07

(54)【発明の名称】 圧電共振子

(57)【要約】

【課題】温度変化率が小さく、かつ従来の SiO_2 となる支持膜では得られなかった高い共振周波数を有する圧電共振子を提供する。

【解決手段】振動空間Aを有する基体1と、該基体1表面に形成され、振動空間Aを被覆する支持膜2と、圧電体薄膜4の両面に電極5、6を形成してなり、振動空間Aと対向する支持膜2の位置に配置された振動体3とを具備するとともに、支持膜2が SiO_2 膜8とダイヤモンド膜9との積層膜であり、圧電体薄膜4がc軸配向した ZnO 膜であることが望ましい。



【特許請求の範囲】

【請求項1】振動空間を有する基体と、該基体表面に形成され、前記振動空間を被覆する支持膜と、該支持膜上に、前記支持膜を介して前記振動空間と対向するように形成され、圧電体薄膜の両面に電極を形成してなる振動体とを具備するとともに、前記支持膜が SiO_2 膜とダイヤモンド膜との積層膜であることを特徴とする圧電共振子。

【請求項2】ダイヤモンド膜が振動空間に面していることを特徴とする請求項1記載の圧電共振子。

【請求項3】圧電体薄膜がc軸配向した ZnO 膜であることを特徴とする請求項1または2記載の圧電共振子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は圧電共振子に関し、圧電体薄膜の両面に電極を形成した振動体の厚み縦振動の共振を利用した圧電共振子に関するものである。

【0002】

【従来技術】無線通信や電気回路に用いられる周波数の高周波数化に伴い、これらの電気信号に対して用いられるフィルタも高周波数に対応したものが開発されている。

【0003】特に、最近注目されているのは、固体の表面を伝わる音響波である表面弾性波の共振を用いる、SAWレゾネーターを用いたフィルタである。このフィルタは、固体表面上に形成した櫛形の電極間に印加される高周波電界と表面弾性波の共振を用いており、1GHz程度までの共振周波数を持つフィルタが作製されている。

【0004】しかしながら、SAWフィルタは、その櫛形電極間距離が共振周波数に反比例するという関係にあるため、1GHzを越える周波数領域では櫛形電極間距離がサブミクロンオーダーとなり、電極作製が非常に困難であった。

【0005】今後、無線通信に用いられる電磁波の周波数は、ますます高くなるものと予想され、既に、数GHz以上の規格策定の動きもあることから、それらの周波数に対応した、安価で高性能なフィルタが求められている。

【0006】こうした要求に対して、新たに、圧電性を示す薄膜の共振を利用した共振子が提案されている。これは、入力される高周波電気信号に対して、圧電体薄膜が振動を起こし、その振動が、圧電体薄膜の厚さ方向において共振を起こすことを用いた共振子である。

【0007】この共振子は、表面弾性波ではなく固体中を伝播する弾性波を用いることから、バルク・アコースティック・ウェーブ・レゾネーター（以下、BAWRという）と呼ばれている。このBAWRを構成する圧電体薄膜の膜厚の制御は、サブミクロン以下の精度で可能であるため、SAWフィルタに比べて、より高い周波数

の共振周波数を持つレゾネーターの作製が可能となると期待され、開発が進められてきた。

【0008】従来のBAWRとしては、図2に示すように、基体11と、該基体11表面に形成された支持膜13と、該支持膜13上に形成されたバッファ層15と、該バッファ層15上に形成された下側電極16と、該下側電極16上に形成された圧電体薄膜17と、該圧電体薄膜17上に形成された一対の上側電極18とからなるものである（USP4,320,365参照）。支持膜13は、振動空間Aを被覆するように基体11上面に形成されている。

【0009】従来のBAWRでは、圧電体薄膜材料として ZnO 、 AlN 、 CdS 等が用いられ、基体材料として主に Si が用いられ、電極材料として Al 、 Au が用いられており、圧電体薄膜を支える支持膜としてはアモルファス SiO_2 が用いられてきた。

【0010】例えば、特開昭60-68710号公報には、圧電体薄膜材料として ZnO 、 AlN 、 CdS 、基体材料として Si 、電極材料として Al 、 Au 、支持膜材料としてアモルファス SiO_2 が用いられている。

【0011】支持膜としてアモルファス SiO_2 が用いられているが、これはアモルファス SiO_2 が Si 基板上に容易に作製できることと、文献（Electronics Lett ersvol.17, No.14, pp507-509(1981)）に報告されているように、アモルファス SiO_2 が圧電体薄膜の弾性的温度係数と逆符号の温度係数を持つため、共振子の共振周波数の変化を補償できるためである。

【0012】また、上記文献には、 ZnO を圧電体薄膜として用いた場合、 ZnO に対する SiO_2 の膜厚比が、基本波で0.5の時、2次波で0.25、0.75、1.25の時零温度係数を得ることができ、かつ高い電気機械結合係数 k_t が得られることが報告されている。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このBAWRは、振動の伝播によって共振を得ているため、圧電体薄膜の振動特性はもとより、この圧電体薄膜を支える支持膜の振動特性がレゾネーターの特性に大きく影響する。

【0014】即ち、従来の1GHz以下の周波数で用いるBAWRでは ZnO の膜厚が2.5 μm 以上となるが、上記文献に報告されているように、零温度係数を実現するために SiO_2 を用いると、アモルファス SiO_2 の膜厚は ZnO の膜厚の0.25～1.25倍であるが、 SiO_2 の膜厚が小さすぎると支持膜としての強度が低下し、BAWレゾネーターとしては使用できないため、現実に使用される SiO_2 の膜厚は2～3 μm 程度と厚いものであった。

【0015】そして、 SiO_2 は非晶質であることから、振動の減衰、すなわち挿入損失が大きく、零温度係

数を得るために膜厚を大きくすると音響媒体としてのパスが大きくなるため、損失が大きくなるという問題があった。

【0016】また、現在主流になりつつある2GHzの周波数で動作させるためには、ZnOの膜厚は1.3 μ m程度となるが、ZnOの弾性的温度係数を補償し、零温度係数を実現するためにはSiO₂は1 μ m以下の膜厚が要求され、挿入損失は低減されるが、非晶質であるSiO₂を1 μ m以下で安定に形成するのは困難であり、共振器自体の製造が困難であった。一方、ZnOの膜厚を1.3 μ m程度とし、SiO₂を厚くすると、SiO₂の弾性的性質が支配的になり、損失が大きくなり、また、温度係数が大きくなり、さらに、高次モードになるため電気機械結合係数が小さくなるという問題があった。

【0017】上記課題を解決するためには、アモルファスSiO₂の膜厚をできる限り小さくし、零温度係数を実現するとともに、支持膜の強度を大きくし、さらに温度係数を極めて小さくする必要があった。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明の圧電共振器は、振動空間を有する基体と、該基体表面に形成され、前記振動空間を被覆する支持膜と、該支持膜上に、前記支持膜を介して前記振動空間と対向するように形成され、圧電体薄膜の両面に電極を形成してなる振動体とを具備するとともに、前記支持膜がSiO₂膜とダイヤモンド膜との積層膜であることを特徴とする。ここで、ダイヤモンド膜が振動空間に面していることが望ましい。また、圧電体薄膜がc軸配向したZnO膜であることが望ましい。

【0019】

【作用】本発明の圧電共振器では、SiO₂膜とダイヤモンド膜の2層積層体を支持膜として用いたので、高強度のダイヤモンド膜により支持膜としての強度を向上することができるとともに、ダイヤモンド膜は共振周波数の温度変化率が極めて小さいため、支持膜としての共振周波数の温度変化率がSiO₂膜に支配され、温度変化率がSiO₂膜とほぼ同等で、高強度の支持膜を得ることができる。

【0020】即ち、例えば、ZnOからなる圧電体薄膜は正の温度係数を有し、アモルファスSiO₂は負の温度係数を有するが、本発明の圧電共振器では、支持膜がSiO₂膜とダイヤモンド膜の2層積層体であり、ダイヤモンド膜自体の弾性定数が大きいため弾性的温度変化が14ppm/°Cと極めて小さいため、ダイヤモンド膜の共振周波数の温度変化率が殆ど零に近く、このため支持膜の温度係数はSiO₂膜の温度係数に支配されて負となり、正の温度係数を有するZnOからなる圧電体薄膜と、負の温度係数を有する支持膜により、振動する部分（支持膜および振動体）の共振周波数の温度係数を零

に近づけることができる。

【0021】また、従来のSiO₂からなる支持膜では、十分な機械的強度を得るために、薄層化の限界があり、例えばZnOからなる圧電体薄膜とSiO₂からなる支持膜の組み合わせで、共振周波数が1.5GHzを越える圧電共振器は得られなかったが、本発明のSiO₂膜とダイヤモンド膜の2層積層体を支持膜として用いると、ダイヤモンド膜自体が高強度であるため、SiO₂膜を薄層化しても支持膜としての構造を維持することができる。

【0022】さらに、ダイヤモンド膜は、ZnO圧電体薄膜とSiO₂支持膜により構成される振動部の音速と比較して、5倍程度の音速を持つため、ZnOおよびSiO₂の合計厚みが1 μ m程度の膜厚の時、ダイヤモンド膜は5 μ m程度で良い。この時、ZnO/SiO₂/ダイヤモンドにより構成される振動部に3次の定在波が立ち、電気機械結合係数が大きくなる。

【0023】また、大きな電気機械結合係数を得るためには、ダイヤモンド膜の膜厚が小さく、ZnO/SiO₂により構成される振動部に2次の定在波が立つことが望ましい。ダイヤモンド膜の厚みが1 μ m程度では電気機械結合係数を殆ど減少させることなく、ZnO/SiO₂により構成される振動部に最も強く励振される2次波を発生させることができる。ダイヤモンド膜を用いることで、支持膜としての機械的強度を向上しつつ、限界膜厚を小さくできる。このため、従来技術による場合と比較して、高い共振周波数を実現できる。

【0024】振動空間には、ダイヤモンド膜が面することが望ましい。これはダイヤモンド膜が高強度であるため、支持膜を十分に支持できるからである。

【0025】

【発明の実施の形態】本発明の圧電共振器は、図1に示すように、振動空間Aを有する基体1と、基体1上に配置され、振動空間Aを被覆するように配置された支持膜2と、振動空間Aに面する支持膜2の位置に配置された振動体3とから構成されており、この振動体3は、圧電体薄膜4の下面に下側電極5、上面に一つの上側電極6を形成して構成されている。

【0026】基体1は、例えばシリコンからなり、エッチングすることにより振動空間Aが形成されている。基体1の振動空間Aとは、振動体3の振動を基体1に伝達しない空間を言い、基体1に貫通孔を形成したり、基体1の支持膜を形成する部分に凹部を形成したりすることにより形成される。

【0027】圧電体薄膜4には、ZnO、AlN、CdS、PbTiO₃等が用いられるが、厚み縦振動の電気機械結合係数が大きい等の理由からPbTiO₃を主成分とすることが望ましい。また、共振器全体の温度係数を零に近づけるといふ点からc軸配向したZnOが望ましい。ZnO圧電体は、c軸方向にのみ圧電性を発現す

るために、厚み縦振動を用いるBAW共振子においてはc軸配向膜である必要がある。

【0028】この PbTiO_3 を主成分とする圧電体薄膜は、成膜時に結晶軸をc軸方向に配向させることにより、大きな圧電性を示すことができ、圧電性が弱い場合には直流電圧を印加して圧電性を付与しても良い。

【0029】この圧電体薄膜4を挟持する電極5、6には、従来より多く用いられているAl、Pt、Au等比較的反応性が低い金属材料が用いられる。圧電体薄膜4との反応を考慮すると、電極材料としては反応性の低いPtが望ましい。

【0030】そして、本発明の圧電共振子では、支持膜2が SiO_2 膜8とダイヤモンド膜9との積層膜で構成した。 SiO_2 膜8の膜厚 t_1 は、 ZnO 膜の膜厚 t_2 に対する SiO_2 膜の膜厚 t_1 の比 (t_1/t_2) が $0.25 \leq (t_1/t_2) \leq 0.75$ が望ましい。これは、 $(t_1/t_2) < 0.25$ の場合や $0.75 < (t_1/t_2) \leq 1.25$ の時 ZnO/SiO_2 はダイヤモンドと同じ負の温度係数を示し温度特性が悪くなるからである。また、 $(t_1/t_2) > 1.25$ の時、 SiO_2/ZnO は正の温度係数を示すが、 SiO_2 膜8の膜厚が大きく、超音波の吸収が大きく、損失が大きくなるためである。

【0031】本発明の SiO_2 膜はアモルファスでも結晶質でも良いが、アモルファスの方が製造上容易であり、望ましい。また、ダイヤモンド膜9は、アモルファスでも結晶質でも良いが、Qの低下を防止するため結晶質が望ましい。

【0032】また、ダイヤモンド膜9の膜厚 t_3 は薄ければ薄いほど良いが、自立膜として形成するには $1\mu\text{m}$ 以上が必要である。RTH、 ZnO 圧電体薄膜は比誘電率が小さいため、共振子の静電容量で決まるインピーダンスを 50Ω にマッチングさせるためには、数 $100\mu\text{m}$ のサイズの自立膜が必要であり、このサイズの自立膜を安定的に作製するためには、 $1\mu\text{m}$ 膜厚が必要となる。

【0033】本発明の圧電共振子では、 SiO_2 膜8とダイヤモンド膜9の2層積層体を支持膜2として用いたので、高強度のダイヤモンド膜9により支持膜2としての強度を向上することができるとともに、ダイヤモンド膜9は共振周波数の温度変化率が極めて小さいため、支持膜2としての共振周波数の温度変化率が SiO_2 膜8に支配され、温度変化率が SiO_2 膜8とほぼ同等で、高強度の支持膜を得ることができる。

【0034】また、 ZnO からなる圧電体薄膜4は正の温度係数を有し、アモルファス SiO_2 は負の温度係数を有するが、本発明の圧電共振子では、支持膜2が SiO_2 膜8とダイヤモンド膜9の2層積層体であり、ダイヤモンド膜9自体が共振周波数の温度変化率が殆ど零に近く、このため支持膜2の温度係数は SiO_2 膜8の温

度係数に支配されて負となり、正の温度係数を有する ZnO からなる圧電体薄膜4と、負の温度係数を有する支持膜2により、振動する部分(支持膜および振動体)の共振周波数の温度係数を零に近づけることができる。

【0035】

【実施例】まず、プラズマCVD法により、 $\text{Si}(100)$ 基体上にダイヤモンド薄膜を形成する。成長条件は、減圧下で CH_4 、 CO_2 、 H_2 混合ガスを用いて、マイクロ波を6KWで入力し、膜厚が $1\mu\text{m}$ のものを作製した。

【0036】天然のダイヤモンドの特性は、ヤング率 $1.2 \times 10^{12} \text{N/m}^2$ 、密度 3.51g/cm^3 、音速は 18500m/s であると報告されている。作製したダイヤモンド薄膜の特性は、密度が 3.4g/cm^3 、ヤング率が $9.6 \times 10^{11} \text{N/m}^2$ であり、音速は 16800m/s であった。これは、天然のダイヤモンドに比べれば若干小さいものの、 SiO_2 (溶融石英)の音速 5700m/s に比べても約3倍の値であり、アモルファスの SiO_2 膜に比べると、さらに高音速である。

【0037】次に、この基体の裏側よりSiをエッチングし、ダイヤモンド膜に達するビアホールを作製する。ここで用いているダイヤモンド膜は結晶質であり、しかも内部残留応力が小さいことが特徴である。そのため、 $1\mu\text{m}$ の膜厚でも、残留応力によって自己破壊することなく自立膜を形成できる。

【0038】こうして作製したダイヤモンドのダイアフラムの上に、熱CVD法により SiO_2 膜を形成する。 SiO_2 膜の膜厚は $1.0\mu\text{m}$ であった。次に、マグネトロンスパッタ法を用いて、Pt下部電極層、 ZnO 圧電体薄膜、Al上部電極層を順次積層する。成長温度は、Pt電極層が 500°C 、圧電体薄膜とAl電極層がともに 200°C である。

【0039】膜厚は、下部電極層、上部電極層ともに 100nm 、圧電体薄膜が $1.3\mu\text{m}$ である。また、これらの薄膜の厚さを制御することにより、共振周波数の大きさを制御することができる。

【0040】評価は図1に示す共振子構造においてインピーダンス測定により行った。RFインピーダンスアナライザと、RF用ウエハマイクロプローブを用い、インピーダンスの周波数特性を測定することにより、 1.7GHz において圧電共振(反共振)を得た。

【0041】また、 $\text{Si}(100)$ 基体上に熱CVD法により $1.5\mu\text{m}$ の SiO_2 膜を形成し、基体の裏側よりSiをエッチングし、 SiO_2 膜に達するビアホールを作製したところ、強度が低く自立膜を形成できなかった。

【0042】以上のように、本発明の SiO_2 /ダイヤモンド支持膜を用いた薄膜圧電共振子は、 SiO_2 支持膜を用いた薄膜圧電共振子に比べ、より SiO_2 膜の膜

厚の小さい自立膜が形成できるため、共振周波数を決めるZnO圧電体膜厚も小さくでき、共振周波数が大きな共振子を構成できる。

【0043】

【発明の効果】本発明の圧電共振子では、SiO₂膜とダイヤモンド膜の2層積層体を支持膜として用いたの
で、高強度のダイヤモンド膜により支持膜としての強度を向上することができるとともに、ダイヤモンド膜は共振周波数の温度変化率が極めて小さいため、支持膜としての共振周波数の温度変化率がSiO₂膜に支配され、温度変化率がSiO₂膜とほぼ同等で、高強度の支持膜を得ることができる。これにより、例えば、ZnOからなる圧電体薄膜を用いた場合には、正の温度係数を有するZnOからなる圧電体薄膜と、負の温度係数を有する支持膜により、振動する部分（支持膜および振動体）の共振周波数の温度係数を零に近づけることができる。従

って、温度変化率が小さく、かつ従来のSiO₂からなる支持膜では得られなかった高い共振周波数を有する圧電共振子を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

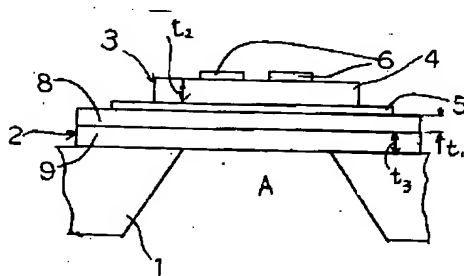
【図1】本発明の圧電共振子を示す断面図である。

【図2】従来の圧電共振子を示す断面図である。

【符号の説明】

- 1・・・基体
- 2・・・支持膜
- 3・・・振動体
- 4・・・圧電体薄膜
- 5・・・下側電極
- 6・・・上側電極
- 8・・・SiO₂膜
- 9・・・ダイヤモンド膜
- A・・・振動空間

【図1】



【図2】

